

УДК 669.15'786—194

К. А. Мамчиц^{1, 2*}, С. Х. Эстимирова^{1, 2}, А. И. Килин^{1, 2}

¹ Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

² Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург

* *ksenija.alejandrovna@gmail.com*

Научный руководитель — проф., д-р техн. наук В. В. Березовская

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ДВУХФАЗНОЙ ВЫСОКОАЗОТИСТОЙ Cr–Mn–Mo-СТАЛИ ПРИ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКЕ

Исследовали структуру безникелевой Cr–Mn–Mo-стали с высоким содержанием азота (0,34 %), образующуюся в результате термической обработки по разным схемам закалки и старения. Использовали металлографический метод, рентгеноструктурный фазовый анализ и измерение твердости. В процессе термообработки аустенит и феррит распадались с образованием нитридов и интерметаллидной σ -фазы и испытывали полиморфные превращения. Наблюдалось также расслоение феррита с образованием обогащенной хромом фазы. Дуплексная структура (с содержанием каждой фазы около 47 %) была получена после закалки от 1150 °С и старения при 700 °С.

Ключевые слова: сталь дуплекс, твердость, нитриды, σ -фаза, расслоение феррита

K. A. Mamchits, S. Kh. Estimirova, A. I. Kilin

FORMATION OF THE STRUCTURE OF A TWO-PHASE HIGH-NITROGEN Cr–Mn–Mo-STEEL IN HEAT TREATMENT

We studied the structure of nickel-free Cr–Mn–Mo steel with a high nitrogen content (0,34 %), formed as a result of heat treatment according to different quenching and aging schemes. The metallographic method, X-ray phase analysis and hardness measurement were used. During heat treatment, the austenite and ferrite of the studied steel decomposed with the formation of nitrides and the intermetallic σ -phase and experienced polymorphic transformations. Separation of ferrite was also observed with the formation of a chromium-enriched phase. A duplex

structure (with a content of each phase of about 47 %) was obtained after quenching from 1150 °C and aging at 700 °C.

Key words: steel duplex, hardness, nitrides, σ -phase, separation of ferrite.

Аустенитные Cr–Mn–Mo-стали с содержанием азота около 0,8 % характеризуются наилучшим сочетанием механических и коррозионных свойств наряду с другими аустенитными сталями с более низким содержанием азота [1–2]. Однако высокое содержание азота в сталях требует специальных методов их производства. Нержавеющая сталь Duplex (DSS) обычно содержит такие легирующие элементы, как никель, хром, молибден и азот. Особый интерес представляют мало-никелевые и безникелевые дуплексные стали [3]. Целью работы была оптимизация термической обработки безникелевой стали с высоким содержанием азота для получения дуплексной структуры.

Мы исследовали высокоазотистую Cr–Mn–Mo-сталь химического состава (масс. %): 0,07 C; 0,34N; 12,9Mn; 0,66Si; 0,002S; 0,007P; 15,94Cr; 0,11Ni; 3,24 Mo; 0,05V. В исходном состоянии сталь подвергали горячей пластической деформации путемковки при 1250 °C. Заготовки закаливали от температур 1000, 1050, 1100 и 1150 °C с выдержкой в течение часа и охлаждением в воде. Готовые образцы выдерживались при 500, 600, 700 и 800 °C в течение часа. Индекс PREN, рассчитанный для исследуемой стали, составлял 32. Микроструктуру стали изучали на оптическом микроскопе Альтами MET 1M при поддержке программы Altami Studio; фазовый состав исследовали на дифрактометре Shimadzu XRD — 7000 в медном K_{α} -излучении; твердость измеряли методом Виккерса на приборе Akashi AVK.

Согласно рентгеноструктурному фазовому анализу основными фазами, содержащимися в стали после различных режимов термической обработки, были аустенит и феррит в разных соотношениях. Кроме того, на дифрактограммах были отмечены пики низкой интенсивности, соответствующие нитриду CrN, наиболее вероятно карбонитриду Cr (C, N) и σ -фазе. Зависимость содержания основных фаз в стали, закаленной от 1150 °C, от температуры старения показала, что после старения при 700 °C в структуре стали содержится около 47 % каждой фазы (рис. 1). Фазовый состав стали представлен в табл. 1.

Твердость стали приведена на рис. 2.

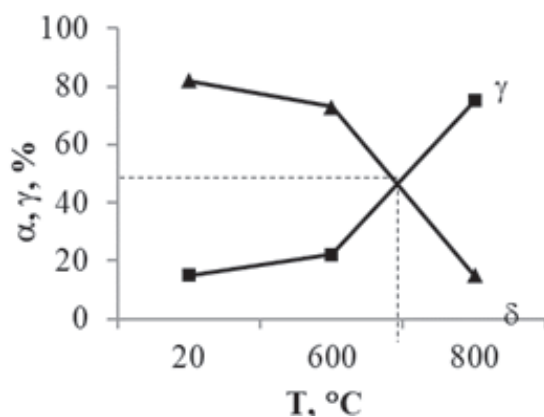


Рис. 1. Влияние температуры старения на содержание основных фаз в стали, закаленной от 1150 °C

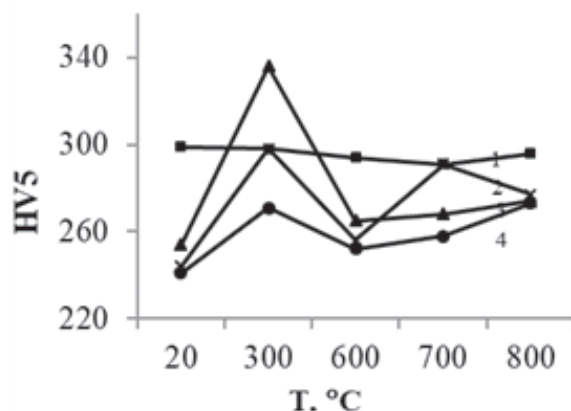


Рис. 2. Влияние старения на твердость стали после закалки от температур, °C:
1 — 1000; 2 — 1050; 3 — 1100; 4 — 1150

После закалки при 1000 °C старение не оказало существенного влияния на твердость стали в результате неполного растворения избыточных фаз в аустените в исходном состоянии. По той же причине закаленная от этой температуры сталь имела наибольшую твердость. Твердость образцов, закаленных от более высоких температур, также заметно повышается после старения при 300 °C; однако чем выше температура старения, тем меньше эффект упрочнения. По результатам рентгеноструктурного анализа в структуре стали после старения

при этой температуре в результате расслоения феррита наблюдалось образование богатого хромом α -твердого раствора (α_{Cr}).

Таблица

Фазовый состав стали после закалки от 1150 °С

Температура старения, °С	Содержание фаз, %		
	α	γ	σ
—	82	15	3
600	73	22	5
800	15	75	10

Из рис. 3 видно, что закалка от температуры 1150 °С и дальнейшее старение обеспечивают однородную структуру стали с небольшой долей (3–5 %) σ -фазы вдоль границ зерен, хотя после старения при 800 °С ее содержание достигало 10 %.

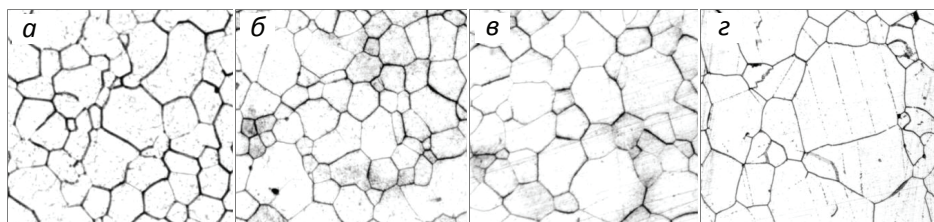


Рис. 3. Микроструктура исследованной стали после закалки от 1150 °С: без старения (а) и со старением при температуре, °С: 600 (б); 700 (в) и 800 °С (г)

Литература

1. Speidel H. J. C., Speidel M. O. Nickel and Chromium based High Nitrogen Alloys // HNS 2003. High Nitrogen Steels. Zurich, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich. 2003. P. 101–112.
2. Merkushkin E. A., Berezovskaya V. V., Shpaidel M. Prediction of Corrosive Characteristics of High-Nitrogen Austenite Steels Based on Correlation Equation of Pitting Potential / Inorganic Materials: Applied Research, 2017, Vol. 8, №. 4. P. 491–493.
3. Singhal L. K., Poojary P. T., Kumar A. Comparative evaluation of low nickel and nickel free lean duplex stainless steels with 316L in a variety of corrosive media // Transactions of the Indian Institute of Metals. 2013. 66 (1). P. 25–31.